

LES MATERIAUX LOCAUX

MLLE AOUTNIL R'Kia
Service Sols et Matériaux • CNER

ET

Mr. MANAL Abderrahman
Service Etudes Routières • LPEE.

I - INTRODUCTION

Durant ces dernières années, le développement économique régional et le désenclavement des localités isolées des grands centres économiques ont fait que les besoins en infrastructure routière se sont faits sentir pratiquement à travers tout le pays et même pour les liaisons pour lesquelles le trafic est faible.

Ces routes ont été construites depuis de nombreuses années avec des matériaux de "HAUT DE GAMME" doués d'excellentes caractéristiques mécaniques et granulométriques; mais le coût sans cesse croissant des transports durant ces dernières années, l'épuisement de certaines réserves de matériaux nobles ainsi que les problèmes d'environnement posés par l'exploitation de certaines carrières, ont poussé les Pouvoirs Publics vers l'exploitation de toutes les potentialités offertes par les matériaux subnormaux utilisables qui sont situés à proximité des chantiers.

II - METHODOLOGIE DE VALORISATION

L'opportunité de valoriser un matériau local ne peut être décidée qu'après des études économiques détaillées des besoins et des ressources en matériaux au moins à l'échelle de la région, ainsi que la connaissance des caractéristiques géotechniques et mécaniques du matériau à valoriser.

Ce matériau peut appartenir à l'une des deux catégories suivantes :

-Le matériau est considéré comme peu performant vis-à-vis de normes de qualité existante, il est dit alors "subnormal".

-Le matériau constitue un sol de plateforme dont il faut améliorer le comportement à court et à long terme et ce en dehors de toute considération normative, c'est le cas des tirs par exemple.

Au Maroc les normes de qualité pour les travaux routiers sont fixées par le cahier des prescriptions communes du ministère de l'Équipement.

L'avantage de toute prescription normative est la garantie de qualités minimales de matériaux pour assurer la durabilité de l'ouvrage, mais elle a souvent l'inconvénient de figer la technique surtout dans le domaine de l'utilisation des matériaux, ces derniers doivent en effet respecter toutes les caractéristiques prescrites pour une utilisation donnée et ces caractéristiques sont généralement quantifiées. Il s'en suit donc que les prescriptions normatives peuvent s'avérer inutilement contraignantes compte tenu du niveau de service demandé pour l'ouvrage ou qu'elles reflètent parfois mal le comportement d'un matériau au sein de la chaussée.

On peut citer par exemple le cas des tufs calcaires qui présentent dans des conditions de teneurs en eau bien déterminées

une cimentation intergranulaire, ce phénomène ne peut en aucun cas être jugé par un essai de dureté Los Angeles ou d'usure Micro Deval tel que c'est normalement prescrit pour un matériau classique .

On peut citer également le cas des structures anciennes exécutées avec des couches de fondation en hérissons surmontés d'une couche de base en pierre cassée. Ces structures présentent généralement une épaisseur totale qui varie de 15 à 25cm et présentent un bon comportement dans des conditions géotechniques et hydrauliques bien définies et parfois sous l'action de très forts trafics. Pour une roche de même qualité, ces structures présentent une économie certaine d'élaboration du matériau par rapport à une GNT. Dans bon nombre de régions, on peut se contenter de pierres de ramassage. Les structures en pierre cassée ne sont pas prises en compte dans le C.P.C sous sa forme actuelle.

Les normes sont toujours définies en prenant une marge de sécurité plus ou moins grande qu'il convient de réduire au maximum, car c'est une façon de multiplier le nombre de sources d'approvisionnement et donc de diminuer les distances de transport. La difficulté réside dans la définition du seuil à ne pas dépasser et des caractéristiques hors normes qu'on peut accepter, en fait, chaque matériau constitue un cas particulier à étudier et on peut dire globalement qu'on peut accepter toutes les caractéristiques hors spécifications et pas toutes à la fois, en effet, pour un matériau donné qui présente une caractéristique subnormale, l'existence pour certaines autres caractéristiques de valeurs nettement meilleures que ce qui est exigé peut compenser les faiblesses de ce matériau, ce qui revient à compenser un défaut par une qualité; sans rentrer dans les détails des entre/compensations possibles/caractéristiques d'un même matériau, on citera uniquement comme exemple l'existence dans des normes étrangères de règles de compensation entre les caractéristiques mécaniques intrinsèques usuelles, à savoir la fragmentation dynamique (L.A) et l'usure Micro Deval humide (M.D.E) (voir graphique ci-après).

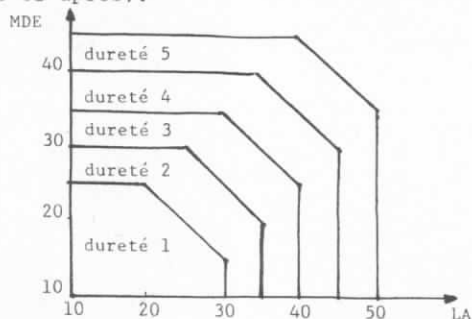


Fig 3 = illustration de la règle des compensations classes de dureté.

Une adaptation des prescriptions normatives n'est donc pas à écarter et ce suivant le niveau de service demandé.

Le choix des matériaux de construction dépend également des méthodes de conception utilisées lesquelles doivent tenir compte également du niveau de service demandé et également des moyens techniques et économiques disponibles pour la réalisation de l'ouvrage. Si on admet l'adoption de structures type Catalogue pour les chaussées à fort trafic dans un souci d'uniformisation il faut au contraire essayer d'adapter les structures de chaussées à faible trafic aux potentialités locales en matériaux de construction. Ceci a amené certains pays étrangers à élaborer des manuels de conception pour les chaussées à faible trafic (réseau national, réseau forestier, agricole, voirie de lotissement, etc...). A titre d'exemple, on présente ci-après une comparaison entre les classes de trafic Français et Marocain et on peut voir aisément que la gamme inférieure du trafic To Marocain fait elle-même partie du trafic faible Français.

Une structure de chaussée travaille dans un contexte géotechnique et hydraulique bien définis. Souvent des chaussées effectuées en matériaux nobles périclitent par manque de drainage ou par l'existence en sol de plateforme de sols très peu portants. Un effort doit donc s'effectuer au niveau des travaux de terrassements pour assurer des couches de forme de bonnes qualités portantes, ce qui peut essentiellement en plus entraîner une économie dans la structure de la chaussée. Le drainage superficiel et interne, doit être assuré par l'adoption de caractéristiques géométriques adéquates (éviter les points bas) et par l'adoption de structures convenables pour les accotements et ce en conformité avec la structure proposée par le corps de chaussée.

Une adaptation des méthodes de conception de structures de chaussées est nécessaire pour les chaussées à faible trafic (classes T3 et T4 Marocaines) et ceci pour intégrer au maximum les matériaux locaux.

La valorisation d'un matériau peu performant, nécessite au préalable la connaissance parfaite de ses caractéristiques intrinsèques (géotechniques, chimiques, etc...). Elle constitue toujours une innovation qui doit donc passer nécessairement par des expérimentations au laboratoires et également en vraie grandeur. Le suivi de ces expérimentations pendant et après réalisation, doit être le plus sérieux possible et ce pour pouvoir tirer le maximum de renseignements. L'enjeu financier est en effet généralement non négligeable. Ces expérimentations doivent être bien préparées à l'avance pour éliminer au maximum les risques d'échec et ce en tenant compte des sujétions liées aux défauts du matériau, aux possibilités de l'élaboration, de la technique utilisée et des conditions climatiques locales. Elles peuvent autant que possible se baser sur la transposition d'expériences étrangères en tenant compte toutefois des différences de toutes sortes entre notre pays et les pays étrangers intéressés (agressivité de trafic, données géoclimatiques, niveau de service recherché, etc...).

TABLEAU DE CORRESPONDANCE DES CLASSES DE TRAFIC

FRANCAISES ET MAROCAINES

Classes de trafic françaises en PL > 5 t c.u. 1 sens de circulation	t 5	t 4	t 3 -	t 3 +	t 3 +
0	25	50	100	150	
Facteur d'agressivité du trafic français	0,4	0,5	0,7	0,8	
Equivalent du trafic français en essieux standards de 13t	0	10	25	70	120
Convention en PL marocains de 1,5 t de PTC. 1 PL de 1,5 t = 0,109 essieu de 13t	0	92	229	642	1100
Trafic marocain tous véhicules 1 sens de circulation pour un taux de 35 % de PL de 1,5 t.	0	263	654	1834	3143
Trafic marocain tous véhicules 2 sens de circulation	0	526	1308	3668	6286
Classes marocaines de trafic en véhicule jours (M.J.A)	0	200	750	2000	4500
2 sens de circulation	T4	T3	T2	T1	T0

III - TECHNIQUES DE VALORISATION DE MATERIAUX LOCAUX

Dans ce chapitre, on évoquera différentes techniques de valorisation qui sont au stade de l'étude au laboratoire ou de l'expérimentation en vraie grandeur au Maroc .

Les caractéristiques géotechniques des matériaux concernés couvrent une large gamme et à chacun de ces matériaux correspond un traitement adéquat destiné à pallier les insuffisances constatées.

Au Maroc, plusieurs matériaux locaux ont fait l'objet d'une étude de technique de valorisation. Dans cet article on évoquera le cas de la Calcarénite et des graves Villafranchiennes du Nord-Ouest, ces matériaux sont en cours d'étude au L.P.E.E, d'autres matériaux en cours d'études au C.N.E.R seront également évoqués, il s'agit notamment de l'utilisation en corps de chaussées des gypses marneux de Safi. On évoquera également un exemple de stabilisation d'un certain nombre de sols argileux destinés à figurer en plateforme support de chaussées .

A - la Calcarénite :

La Calcarénite est une roche très abondante le long du littoral atlantique entre la région de Mohammedia jusqu'aux environs du Nord de Safi, elle est aussi appelée "Grés dunaire". On distingue :

- La Calcarénite type moyen : un calcaire dunaire dont le grain moyen est compris entre 0,3 et 1 mm et le pourcentage de ciment voisin de 40%.

- Les Lumachelles : des calcaires formés de coquilles de plus de 0,7 cm en moyenne et qui peuvent aller jusqu'à plusieurs centimètres.

La Calcarénite est une roche tendre et friable dont la dureté Los Angeles dépasse dans tous les cas 40, elle présente une grande porosité et sa densité dépasse rarement 2 T/m³, sa résistance à la compression varie de 40 à 200 bars, ce qui est relativement faible. Ce matériau présente donc un caractère "subnormal" par rapport aux spécifications du cahier des prescriptions communes (C.P.C) du Ministère de l'équipement, relatives aux matériaux destinés au corps de chaussée ou en couche de surface .

Le principal défaut de ce matériau est sa friabilité exagérée, tout compactage entraîne une transformation du matériau se traduisant par un accroissement de la fraction sableuse et des farines, accroissement d'autant plus important en général que le diamètre des plus gros grains est élevé et que l'énergie de serrage est importante, toutefois les fractions résultant de cette transformation sont en général saines et sans activités argileuse .

Compte tenu de l'importance des gisements et dans le but de faire évoluer la réglementation technique vers un meilleur ajustement, une valorisation de ce matériau s'avère nécessaire, les recherches sont en cours et les techniques adoptées actuellement sont de deux sortes :

- La première déjà expérimentée et qui consiste en l'utilisation du matériau tel quel en jouant uniquement sur sa courbe granulométrique et le calibre des éléments les plus gros et cela dans le but de limiter la production de fines par auto-attrition. En effet, l'évolution du matériau est d'autant plus rapide que la courbe du matériau s'éloigne d'une courbe de matériau stable voisine d'une courbe de Talbot.

Cette technique a été utilisée sur la première tranche de l'Autoroute Casa-Rabat pour adopter un tout-Venant Calcarénite no. traité en couche de fondation. On dispose donc d'une expérimentation en vraie grandeur et de suffisamment d'années d'exploitation pour tirer les conclusions qui s'imposent.

-La deuxième technique consiste en l'utilisation du matériau après traitement avec un liant hydraulique en l'occurrence du ciment. Cette technique est en cours d'étude au L.P.E.E Le procédé a pour but de cimenter les grains entre eux pour limiter l'attrition .

Les premiers résultats obtenus concernent une Calcarénite qui provient des carrières de Bouskoura et les premières conclusions qu'on peut tirer sont comme suit :

a) La granulométrie du matériau joue beaucoup sur les performances mécaniques (Module de déformation, résistances en compression et en traction). Les meilleurs résultats sont obtenus pour des granulométries qui s'éloignent un peu du fuseau SETRA-LCPC.

b)Les performances mécaniques obtenues pour ces granulométries et pour un dosage en ciment égal à 3%, répondent bien aux recommandations du CEBTP pour les sols traités destinés à figurer en couche de fondation ou en couche de base des renforcements de chaussées en Afrique Tropicale.

B - Le Villafranchien du Nord - Ouest :

Pour les chantiers routiers du Gharb, Les matériaux routiers posent systématiquement un problème de dureté, le meilleur matériau qui soit dans les limites des spécifications est la Grave Villafranchienne.

Le Villafranchien du Nord-Ouest est le résultat d'une décomposition de roches de montagne (Grès, Schiste, Quartzite, Granites, etc...) par les courants d'eau les résultats de cette érosion s'accumulaient pour donner naissance à un matériau rouge argilo-caillouteux.

Le Villafranchien existe en quantités importantes et se caractérise par une dureté de l'ordre de 30 à 35 en Los Angelès et une propreté rarement supérieure à 30 en équivalent de sable. Ce matériau peut généralement figurer en couche de fondation, mais rarement en couche de base comme matériaux G.N.B et G.NA. La barrière du LA à 25 pour les enrobés bitumineux EB et à 30 pour la grave-bitume G.B.B fait en plus que le Villafranchien n'a aucune chance de répondre aux spécifications .

La valorisation de ce matériau peut se faire a priori de deux manières :

- La première manière consiste à intégrer au maximum possible le Villafranchien dans la structure de la chaussée, quitte à effectuer la couche de surface en matériau performant (cloutage par un revêtement superficiel de dureté suffisante). Ceci suppose une amélioration des caractéristiques du matériau par des traitements simples, qui peut consister en un criblage pour éliminer la fraction sableuse polluée et son remplacement, ou seulement un simple concassage pour améliorer le frottement interne du matériau et l'adoption de granulométries pleines et stables .

- La deuxième manière consiste à traiter le matériau au ciment, une étude est en cours au L.P.E.E. Les matériaux étudiés proviennent des ballastières de Lalla Mimouna et de Ouled Chetouane. Les premières conclusions qu'on peut tirer se présentent comme suit :

a) Villafranchien de Lalla Mimouna

Ce matériau présente à l'état brut des insuffisances en dureté (LA = 28 DH = 24), en propreté (ES 21) et en granulométrie. Un traitement à 3% de ciment confère au matériau une très bonne portance (C.B.R. 100) et des performances mécaniques intéressantes avec des résistances à la compression et à la traction mesurées à 6 et 7 jours d'âge sur des éprouvettes d'élancement égal à 2 respectivement de l'ordre de 37 bars et 5 bars.

b) Villafranchien d'Ouled Chetouane

Ce matériau présente à l'état brut, une forte plasticité (IP=25), un traitement à 5% de ciment améliore nettement la plasticité (IP= 7) et la portance mesurée par l'essai C.B.R. On ne dispose pas jusqu'à présent de résultats d'essais d'écrasements en compression et en traction.

C - CAS DU GYPSE (suivi de la planche expérimentale)

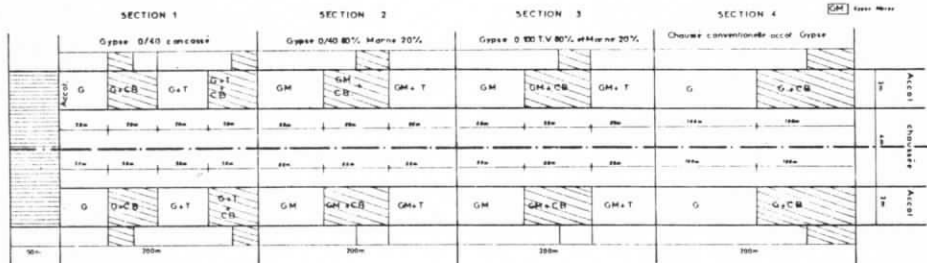
Le tronçon expérimental de gypse de Safi se situe au CT 6511 du PK 0+050 au PK 0+850. Il est constitué de quatre sections de 200 m chacune réparties de la manière suivante :

-section I : Couche de base en gypse 0/40

Fig. 9

SECTIONS EXPERIMENTALES C.T 6 511

☐ Open
☒ Left Hand
☐ Intermediate Left Hand
☒ Easy Music



Echelle: Longueur : 1 cm = 20 m
Longueur : 1 cm = 1 m

- Section II : Couche de base en mélange gypse 0/40
80 % et marne 20 % .
- Section III : Couche de base en mélange gypse 0/100
80 % et marne 20 % .
- Section IV :Chaussée traditionnelle
- Accotement en gypse 0/40 concassé.
- Le trafic est de 250 à 300 v/j.

Les travaux de terrassement avaient commencé le 1er Octobre 1983 et la chaussée a été mise en service en Décembre 1984.

PROGRAMME DU SUIVI DE LA PLANCHE EXPERIMENTALE

Dans le but de suivre l'évolution de l'état du tronçon expérimental, le CNER a élaboré un programme de suivi qui renferme les essais suivants :

- Mesure de la capacité portance de la chaussée et mesures de déflexion .
- Relevé visuel et mesure de l'uni
- Mesure de l'uni transversal
- Mesure de l'uni longitudinal.

CAPACITE PORTANTE DE LA CHAUSSEE ET MESURES DE DEFLEXION:

Les premières mesures de déflexion qui ont été effectuées le 5 Janvier 1985 au deflectographe Lacroix ont donné les résultats suivants:

! SECTION !	! DU PK AU PK !	! DEFLEXION D 90 10 ⁻² mm !	
		! COTE RIVE !	! COTE AXE !
! I	!0+111-0+253	! 68 à 147	! 109 à 177
! II	!0+273-0+456	! 141 à 147	! 163 à 176
! III	!0+476-0+638	! 58 à 169	! 90 à 206
! IV	!0+658-0+841	! 169 à 195	! 199 à 235

La deuxième mission de déflexion a été faite deux années après la mise en service de la chaussée à la date du 13 décembre 1986 et a donné les résultats suivants:

SECTION	DU PK AU PK	DEFLEXION D 90 10 ⁻² mm	
		COTE RIVE	COTE AXE
I	!0+102-0+251	50 à 55	47 à 52
II	!0+269-0+436	47 à 51	49 à 59
III	!0+455-0+640	44 à 56	49 à 60
IV	!0+659-0+844	48 à 57	50 à 53

En analysant ces tableaux, on remarque qu'à l'âge de 1 mois, les mesures de déflexion sont assez élevées pour toutes les sections. Elles vont jusqu'à 195 / 100mm pour la rive et 235/100 mm pour l'axe. Cependant après à peu près 2 années de service, ces déflexions ont beaucoup diminué jusqu'à atteindre au maximum, la valeur de 60/100 de mm.

Se basant sur les mesures de déflexion, on peut conclure que la structure se comporte sainement du point de vue portance .

En effet, avec un trafic journalier moyen de 300 v/j la chaussée a supporté un nombre d'essieux équivalent (à un essieu de 13 T) cumulé sur 2 ans de 5734 E:13T/jour/Sens. Sous l'action de ce nombre d'essieux, la chaussée a été surcompactée, par suite, la structure a été consolidée d'où une diminution de la deflexion .

RELEVÉ VISUEL ET MESURE DE L'UNI

Il consiste à parcourir la section à une vitesse moyenne de 50 Km/h et à noter l'appréciation subjective globale et rapide de l'état de la chaussée et de ses annexes .

Les mesures avaient donc montré que :

- L'état était bon
- l'uni visuel était moyen à bon
- Les accotements étaient bons aussi

Cependant, il a été constaté au cours de ces derniers mois qu'un arrachement assez sévère de l'enduit superficiel est apparu tout le long de l'axe de la chaussée .

Le gypse étant un matériau très friable et sous l'action du sur-compactage dû au passage des véhicules il s'effrite facilement et donne naissance à des fines importantes qui nuisent à la bonne adhérence de l'enduit superficiel .

Il en résulte par conséquent des arrachements de plaquettes du revêtement

D'autre part il a été remarqué une dégradation assez nette au niveau d'un petit ouvrage d'art à la deuxième section. La région avait subi une forte pluviométrie à une certaine période de l'année et la buse qui permettait à l'eau de circuler a été obstruée, l'eau avait donc submergé la chaussée et y avait séjourné une quinzaine de jours. Sous l'action combinée de l'eau et du trafic dont un grand pourcentage de poids lourds vu l'existence d'une carrière à proximité, la chaussée s'est nettement dégradée à ce niveau là.

MESURE DE L'UNI TRANSVERSAL

Les mesures ont été faites le 15 Janvier 1985 au transversoprofilographe et donnent les résultats suivants:

PK	PENTE x1/100 Pc	VARIANCE x1/10000 S2	CLASSE
0+050	1,046	14,859	2
0+150	2,865	21,499	3
0+250	1,566	8,598	2
0+350	1,510	10,494	2
0+450	1,537	12,005	2
0+550	2,111	11,447	2
0+650	0,891	9,248	2
0+750	1,017	6,894	

La valeur de la variante S 2 permet de diviser un profil en travers en quatre classes:

$S \cdot 2 \cdot 10^{-4}$	2	= bon profil
$2 < S \cdot 2 \cdot 10^{-4} < 20$		= déformation apparente
$20 < S \cdot 2 \cdot 10^{-4} < 70$		= déformation
$S \cdot 2 \cdot 10^{-4} < 70$		= déformation très importante

En se servant de la classification citée là-dessus, on pourra dire qu'à l'exception de la première section, où on note une déformation importante au PK 0+150, toutes les autres sections montrent un assez bon profil en travers, les déformations notées étant des déformations apparentes.

MESURE DE L'UNI LONGITUDINAL

Les mesures sont faites à l'aide d'un analyseur de profil en long APL 72. On présentera ci-après les résultats des deux séries de mesures, l'une effectuée (a) au 5 Janvier 1985, (b) l'autre au 3 Juin 1985.

a)

SECTION	DU PK AU PK	Cp40 moyen de la section	Cp10 moyen de la section	Cp2,5 moyen de la section
I	0,050-0,250	329	175	103
II	0,250-0,450	276	153	91
III	0,450-0,650	351	152	88
IV	0,650-0,850	436	146	71

(b)

SECTION	DU PK AU PK	Cp40 moyen de la section	Cp10 moyen de la section	Cp2,5 moyen de la section
I	0,050-0,250	504	198	99
II	0,250-0,450	476	193	89
III	0,450-0,650	500	183	106
IV	0,650-0,850	644	130	57

L'analyse des deux tableaux précédents nous permet de conclure qu'au bout de 6 mois :

-Les valeurs de Cp 40-coefficient de planéité correspondant à la gamme de longueur d'onde 13 m à 40 m, ont subi à peu près 50% d'augmentation.

-Les valeurs de Cp 10-coefficient de planéité correspondant à la gamme 3,3 m à 13 m, ont subi à peu près 15% d'augmentation.

-Par contre les valeurs des Cp 2,5 - coefficient de planéité correspondant à la gamme 1m à 3,3 m, sont sensiblement les mêmes.

Il est à noter que ces déformations constatées au niveau des fortes longueurs d'ondes n'affectent en rien les conditions de confort et de la sécurité de l'utilisateur, les deux critères habituellement recherchés dans un uni de bonne qualité.

Une durée de 2 ans ne semble pas suffisante pour avancer des conclusions sur l'état d'évolution de ce tronçon expérimental. Par suite, il serait préférable de prolonger la période de suivi pour pouvoir tirer des conclusions plus significatives.

D - CAS DE QUELQUES SOLS TIRSEUX TRAITES A LA CHAUX.

Dans le cadre des recherches entreprises pour l'amélioration des caractéristiques des sols gonflants, le CNER a élaboré un programme d'essais dont le but est de vérifier l'aptitude de quelques sols argileux gonflants, provenant du Nord-Ouest du Maroc, à la stabilisation à la chaux locale et de suivre son évolution à court et à long terme.

Ces sols ont été prélevés de :

- La RS 612 PK 10+500 DPE DE TANGER
- La RP 6 PK 65+000 DPE DE KENITRA
- Le CT 2309 PK 1+000 DPE KENITRA
- Le CT 2010 PK 0+000 DPE SIDI KACEM
- Le CT 2632 PK 16+800 DPE DE SIDI KACEM
- La RS 603 PK 9+500 DPE TETOUAN.

L'étude qui a été réalisée sur ces sols traités à différents pourcentages de chaux éteinte (0-4-6%) a montré les résultats suivants:

1. Analyse granulométrique.

L'examen des courbes granulométriques, montre que plus de 90 ou 95% d'éléments sont inférieurs à 0,08mm. Il s'agit donc de sols contenant un grand pourcentage de fines.

2. Limites d'atterberg.

Les sols ont des limites de liquidité et des indices de plasticité pratiquement élevés. Les premières varient entre 57 et 63 % et les deuxièmes entre 34 et 39 %. Il s'agit donc ici des sols très plastiques. Ce qui a été confirmé par les classifications :AASHO et LPC. Selon AASHO, ils sont classés A 7 - 6 et selon LPC ils sont classés (At) argiles très plastiques .

3. Etude physico-chimique.

L'étude physico-chimique qui a été effectuée pour les 4 sols provenant de Tétouan, Kénitra et Sidi kacem a montré que leur fraction argileuse est principalement constituée de montmorillonite mélangée à de petites quantités de l'illite ou de kaolinite.

4. Proctor modifié avec respectivement 0-4-6 % de chaux.

Les résultats de l'étude Proctor Modifié nous permettent de tirer un certain nombre de renseignements, l'examen des courbes obtenues pour les différents matériaux avec et sans addition de chaux compactés dans des conditions analogues nous incite à constater que l'apport de chaux permet de bénéficier d'un déplacement vers la droite de la teneur en eau optimum proctor modifié, ce qui se traduit par une augmentation de la teneur en eau optimum proctor de l'échantillon traité.

Ce dernier peut donc être compacté à des teneurs en eau supérieures à celles que, l'on utiliserait pour le même échantillon non traité.

Nous remarquons d'autre part que la marge de variation des densités sèches du matériau traité est assez faible quelle que soit la teneur en eau . Ce qui élargit les conditions de compactage.

Celles -ci n'étant plus liées rigidement à la teneur en eau, il est donc toujours possible de compacter un sol au voisinage de sa densité sèche maximum.

5. Essais C B R.

D'après les différents essais on peut conclure que ces sols ont marqué un CBR assez important lors des essais immédiats et dès qu'on les a imbibés d'eau, leur CBR a considérablement chuté. Après l'addition de 4% et 6% de chaux les valeurs des CBR se sont très nettement améliorées.

De plus, l'imbibition n'a presque aucun effet sur les CBR des sols traités. Il semble qu'elle a même un effet favorable sur les valeurs après une conservation de 28 jours à l'air suivie d'une imbibition de 28 jours.

En pratique, il s'agit donc des sols qui ont une très bonne portance en saison sèche. En période humide leur portance chute et devient quasi -nulle après imbibition. Le traitement à la chaux peut donc améliorer la portance de ces sols d'une façon spectaculaire. Il serait, cependant préférable de procéder à un traitement à la chaux au printemps, le sol étant facile à pulvériser après les pluies d'hiver et les températures assez élevées, ce qui est favorable pour les réactions argile-chaux.

6. Essais de gonflement.

les essais de gonflement ont montré que ces sols ont des pouvoirs de gonflement très importants. En effet certains sols ont marqué un gonflement allant jusqu'à 1480 centièmes de millimètres au bout d'un cycle de 28 jours sous eau (la hauteur de l'éprouvette étant de 100 mm).

L'addition de la chaux a considérablement réduit ce gonflement. Avec l'apport de 6 % de chaux, il a même atteint 20 centièmes de millimètres pour certains sols.

Il est à signaler que tous les sols traités n'ont marqué aucun gonflement après une imbibition de 28 jours précédée d'une conservation de 28 jours à l'air. On peut donc conclure que le gonflement de ces argiles est complètement jugulé après adjonction de la chaux.

7. Essais de compression simple:

a) Conservation Normale

Il s'agit des essais de résistance à la compression simple sur éprouvettes fabriquées à la teneur en eau et à la densité sèche optimum proctor modifié.

Les résultats montrent que l'addition de la chaux modifie considérablement les valeurs de la résistance à la compression simple avec ou sans imbibition

Nous avons obtenu des résistances supérieures à 26 Kg/cm² pour certaines éprouvettes traitées et conservées normalement alors que les matériaux non traités montrent une résistance comprise entre 5,6 et 11 Kg/cm².

Après imbibition, ces dernières valeurs deviennent nulles, les éprouvettes s'étant délitées une fois immergées dans l'eau. Les autres, celles du sol traité à 4 et à 6% de chaux ont subi une légère chute, cependant restent toujours intéressantes.

Nous en concluons que le sol traité à la chaux peut montrer une bonne résistance à la compression simple même en saison humide ce qui est un résultat très satisfaisant.

Avoir l'allure des courbes obtenues des résistances en fonction du temps, on peut déduire que la chaux continue à agir dans le temps sur les sols en améliorant leur résistance à la compression. Toutefois, avec une vitesse de plus en plus faible, les pentes des courbes se faisant de plus en plus douces.

b) Conservation à 40 centigrades

Ces essais accélérés ont été mis au point pour montrer le rôle que peut jouer la température de conservation dans ce genre d'essais.

L'analyse de ces essais montre que, d'une façon générale les résistances à la compression des échantillons traités à 6 % de chaux après 28 jours de conservation à 40 centigrades sont beaucoup plus importantes que celles obtenues au bout de 150 jours avec une conservation de 20°C. Ces valeurs restent toujours importantes après 4 jours d'imbibition d'eau, en comparaison avec celles obtenues avec une conservation normale.

On peut donc conclure que la température de conservation apparait comme un facteur important dans les réactions argile-chaux. Cette augmentation des résistances à la compression simple est due à l'accélération des réactions entre la chaux et les minéraux argileux et à une cristallisation plus rapide des espèces nouvellements formées. On peut en tirer qu'une expérimentation réalisée au cours d'une période sèche donnerait des résultats beaucoup plus intéressants.

Le traitement à la chaux constitue donc un remède convenable pour le problème des tirs. Il a en effet permis d'obtenir une amélioration marquée de toutes les caractéristiques géotechniques de ce type de sol.

Il s'en suit qu'avec un pourcentage de chaux se situant aux alentours de 5 %, le sol acquiert une bonne stabilité et une insensibilité à l'eau remarquable.

Cette étude a montré que non seulement l'adjonction de la chaux améliore la stabilité des tirs, mais elle permettra aussi de réduire de beaucoup les épaisseurs des corps des chaussées eux mêmes, le gain en portance étant spectaculaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1/ - Chaussées neuves à faible trafic - Manuel de conception (DRCR / FRANCE)
- 2/ - Traitement du Villafranchien du Gharb au ciment (LPEE)
- 3/ - Traitement de la calcarénite au ciment (LPEE)
- 4/ - Bulletin spécial L.P.C "GRANULATS".
- 5/ - L. AYACHE/ N. AHMAR LEGROUN "le gypse, matériau routier ?" 1er Congrès National de la Route - Février 1984.
- 6/ - A. DAHBI - Relevé de l'état des routes au moyen d'appareil de mesure de l'uni et utilisation d'un paramètre pour la programmation de l'entretien routier préventif, 1er Congrès National de la Route - Février 1984.
- 7/ - GORSKI - Etude de l'uni longitudinal des revêtements routiers CRR - CR 15/81.
- 8/ - Transveroprofilographe LCPC - WL
- 9/ - R. AOUTNIL - Stabilisation des tirs à la chaux . Rapport interne - CNER - 1985.